

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-075165

(43)Date of publication of application : 14.03.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/293

G02B 6/12

G02B 13/00

(21)Application number : 11-171608

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 17.06.1999

(72)Inventor : SHIRASAKI MASATAKA  
SIMON KAO

(30)Priority

Priority number : 98 140639

Priority date : 26.08.1998

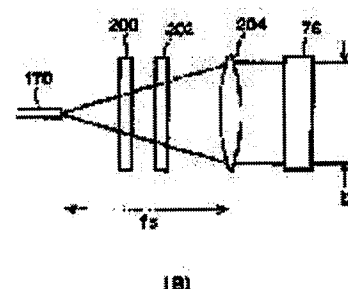
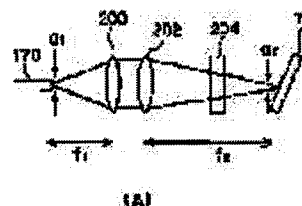
Priority country : US

(54) VIRTUALLY IMAGED PHASED ARRAY HAVING LENS DISPOSED IN ORDER TO OBTAIN BROAD BEAM WIDTH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the simultaneous sepn. of plural carriers from wavelength divided multiples light with simple constitution by using an apparatus which has first to third lenses and an angle dispersion device and receives input light of respective wavelengths within a continuous range of wavelengths.

SOLUTION: The first lens 200 collimates input light when viewed laterally. The lens does not possess the effect of a lens when viewed from front. The second lens 202 receives the input light from the first lens 200 and condenses the input light when viewed laterally. The lens does not possess the effect of a lens when viewed from front. The third lens 204 receives the input light from the second lens 202 and collimates the input light when viewed from front. The lens does not possess the effect of a lens when viewed laterally. The light from the third lens is received in a virtually imaged phased array(VIPA) 76. This VIPA 76 forms the output light which is spatially discriminatable from the output light formed with respect to the input light having any other wavelengths within the continuous range of the wavelengths.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-75165  
(P2000-75165A)

(43) 公開日 平成12年3月14日 (2000. 3. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)	
G 0 2 B	6/293	G 0 2 B	6/28	C
	6/12		13/00	
	13/00		6/12	F

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平11-171608	(71) 出願人	000003223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成11年6月17日 (1999. 6. 17)	(72) 発明者	白▲崎▼ 正孝 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(31) 優先権主張番号	0 9 / 1 4 0 6 3 9	(72) 発明者	サイモン カオ アメリカ合衆国, 94538 カリフォルニア州, フリーモント, アルブラエ ストリート 42501番地, アパネックス コーポレーション内
(32) 優先日	平成10年8月26日 (1998. 8. 26)	(74) 代理人	100074099 弁理士 大管 義之 (外1名)
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

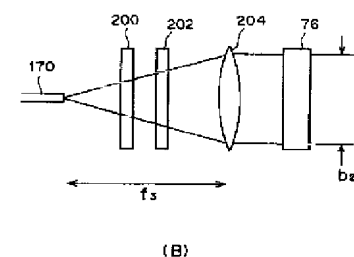
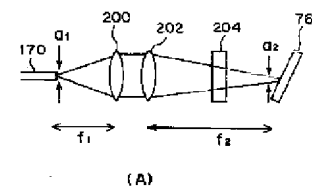
(54) 【発明の名称】 広いビーム幅を得るために設けたレンズを有するバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (V I P A)

(57) 【要約】

【課題】簡単な構成で、波長分割多重光から複数のキャリアを同時に分離することのできる波長分波器を提供する。

【解決手段】角分散装置は、入力光を受光し、入力光の波長に従って空間的に区別可能な出力光を生成するバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (V I P A) として働く。最初に、第2及び第3のレンズが入力光を角分散装置に収束させるために配置される。第1、第2、及び第3のレンズの特性は、角分散装置によって生成される出力光の、正面から見たビーム幅を大きくすることができるように決定される。第1のレンズは、側面から見て入力光をコリメートし、正面からみて、レンズの効果を有しない。第2のレンズは、第1のレンズから入力光を受光し、側面から見て入力光を収束し、正面から見てレンズの効果を有しない。第3のレンズは、第2のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見てレンズの効果を有しない。角分散装置は、第1と第2の面を有している。第1と第2のレンズは1つのレンズとすることができる。

本発明の一実施形態に従ったVIPAを用い、正面において大きなビームサイズを与える装置の側面図と正面図を示す図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置であって、

側面から見て入力光をコリメートし、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、

該第1のレンズから入力光を受光し、側面から見て入力光を収束し、正面から見てレンズとしての効果を有しない第2のレンズと、

該第2のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見てレンズとしての効果を有しない第3のレンズと、

第1と第2の面を有し、第2の面は、入射した光の一部を透過させるような反射率を備え、該第3のレンズから入力光を受光し、該第1と第2の面は、入力光が該第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が該第2の面を介して透過され、該複数の透過光は、互いに干渉して波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対しても生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【請求項2】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、側面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

側面から見た該ビームサイズは、比  $f_1 / f_2$  によって決定されることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離  $f_3$  によって決定されることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項4】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

正面から見た該ビームサイズは、比  $f_1 / f_2$  によって影響されないことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項5】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

焦点距離  $f_3$  は、正面から見てビームサイズが3mm以上であるような長さであることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項6】前記第1、第2、及び第3のレンズは入力光を、前記角分散装置の前記第1と第2の面の間に線収束させることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項7】入力光は、波長の連続範囲内の異なる波長をそれぞれ有する少なくとも2つのキャリアからなる波長分割多重光であり、複数の透過光は互いに干渉し、他の出力光とは空間的に区別可能な各出力光を、入力光の各キャリアに対しそれぞれ生成することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項8】前記第1、第2、及び第3のレンズのそれぞれは、円筒レンズ、半円筒レンズ、及び1次元グレイディッドインデックスレンズからなるグループの一つであることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項9】側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置であって、

側面から見て入力光をコリメートし、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、

該第1のレンズから入力光を受光し、側面から見て入力光を収束し、正面から見てレンズとしての効果を有しない第2のレンズと、

該第2のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見てレンズとしての効果を有せず、従って、入力光を線に収束する第3のレンズと、

第1と第2の面を有し、第2の面は入射した光の一部を透過させるような反射率を有し、第1と第2の面が、該第3のレンズからの入力光が該線から放射され、第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光を第2の面を介して透過し、複数の透過光は、互いに干渉して、異なる波長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【請求項10】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、側面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

側面から見た該ビームサイズは、比  $f_1 / f_2$  によって決定されることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項11】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離  $f_3$  によって

決定されることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項12】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、正面から見た該ビームサイズは、比  $f_1 / f_2$  によって影響されないことを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項13】前記第1、第2、及び第3のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、第2、及び第3のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を有し、焦点距離  $f_3$  は、正面から見てビームサイズが3mm以上であるような長さであることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項14】前記第1、第2、及び第3のレンズは入力光を、前記角分散装置の前記第1と第2の面の間に線収束させることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項15】入力光は、波長の連続範囲内の異なる波長をそれぞれ有する少なくとも2つのキャリアからなる波長分割多重光であり、複数の透過光は互いに干渉し、他の出力光とは空間的に区別可能な各出力光を、入力光の各キャリアに対しそれぞれ生成することを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項16】前記第1、第2、及び第3のレンズのそれぞれは、円筒レンズ、半円筒レンズ、及び1次元グレーディッドインデックスレンズからなるグループの一つであることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項17】側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置であって、入力光を受光し、側面から見てレンズとして働き、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、

該第1のレンズから入力光を受光し、正面から見てレンズとして働き、側面から見てレンズとしての効果を有しない第2のレンズと、

第1と第2の面を有し、第2の面は、入射した光の一部を透過させるような反射率を備え、該第2のレンズから入力光を受光し、該第1と第2の面が、入力光が該第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が該第2の面を介して透過され、該複数の透過光は、互いに干渉して波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【請求項18】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て

入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$  を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離  $f_2$  によって決定されることを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項19】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$  を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離  $f_1$  によって影響を受けないことを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項20】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$  を有し、

焦点距離  $f_2$  は、正面から見てビームサイズが3mm以上であるような長さであることを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項21】前記第1、及び第2のレンズは入力光を、前記角分散装置の前記第1と第2の面の間に線収束させることを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項22】入力光は、波長の連続範囲内の異なる波長をそれぞれ有する少なくとも2つのキャリアからなる波長分割多重光であり、複数の透過光は互いに干渉し、他の出力光とは空間的に区別可能な各出力光を、入力光の各キャリアに対しそれぞれ生成することを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項23】前記第1、及び第2のレンズのそれぞれは、円筒レンズ、半円筒レンズ、及び1次元グレーディッドインデックスレンズからなるグループの一つであることを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項24】側面と正面を有し、入力光を受光する装置であって、

入力光を受光し、側面から見てレンズとして働き、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、

該第1のレンズから入力光を受光し、正面から見てレンズとして働き、側面から見てレンズとしての効果を有せず、従って、入力光を線に収束する第2のレンズと、

第1と第2の面を有し、第2の面は、入射した光の一部を透過させるような反射率を備え、該第1と第2の面が、第2のレンズからの入力光が該線から放射され、該第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が該第2の面を介して透過され、該複数の透過光は、互いに干

渉して異なる波長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【請求項25】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離 $f_2$ によって決定されることを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項26】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を有し、

正面から見た該ビームサイズは、焦点距離 $f_1$ によって影響を受けないことを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項27】前記第1、及び第2のレンズは、入力光を前記角分散装置内の収束位置に収束し、正面から見て入力光は、該収束位置において対応するビームサイズを有しており、

該第1、及び第2のレンズは、それぞれ焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を有し、

焦点距離 $f_2$ は、正面から見てビームサイズが3mm以上であるような長さであることを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項28】前記第1、及び第2のレンズは入力光を、前記角分散装置の前記第1と第2の面の間に線収束させることを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項29】入力光は、波長の連続範囲内の異なる波長をそれぞれ有する少なくとも2つのキャリアからなる波長分割多重光であり、複数の透過光は互いに干渉し、他の出力光とは空間的に区別可能な各出力光を、入力光の各キャリアに対しそれぞれ生成することを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項30】前記第1、及び第2のレンズのそれぞれは、円筒レンズ、半円筒レンズ、及び1次元グレーディッドインデックスレンズからなるグループの一つであることを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項31】側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置であって、入力光を受光し、側面から見て入力光を収束し、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、該第1のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見てレンズとしての効果を有せず、入力光を線に集光する第2のレンズと、第1と第2の面を有し、第2の面は、入射した光の一部

を透過させるような反射率を備え、該第2のレンズから入力光を受光し、該第1と第2の面が、入力光が該第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が該第2の面を介して透過され、該複数の透過光は、互いに干渉して波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【請求項32】側面と正面とを有し、各波長の入力光を受光する装置であって、

入力光を受光し、側面から見て入力光を収束し、正面から見てレンズとしての効果を有しない第1のレンズと、該第1のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見てレンズとしての効果を有せず、入力光を線に集光する第2のレンズと、第1と第2の面を有し、第2の面は、入射した光の一部を透過させるような反射率を備え、該第1と第2の面が、入力光が該第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が該第2の面を介して透過され、該複数の透過光は、互いに干渉して異なる波長を有する入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置された角分散装置と、を備えることを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ(VIPA: virtually imaged phased array)、すなわち、複数のキャリアからなる波長分割多重光を受光し、波長分割多重光を複数のキャリアにそれぞれ対応し、互いに空間的に区別可能な複数の光束に分波する波長分波器に関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】波長分割多重は、高速で、比較的少量のデータを伝送するために、光ファイバ通信において使用されている。より詳しくは、それぞれ情報で変調された複数のキャリアは、合波されて波長多重光にされる。波長分割多重光は、それから、1つの光ファイバを介して受信器に送信される。受信器は、波長分割多重光を各キャリアに分波し、各キャリアを検波する。このように、通信システムは、光ファイバを用いて、比較的少量のデータを伝送することができる。

【0003】従って、受信器が波長分割多重光を正確に分波する能力は通信システムの性能に大きく影響する。例えば、たとえ、多くのキャリアを合波して波長分割多重光にできたとしても、そのような波長分割多重光は、受信器が正確に波長分割多重光に分波できないのであれば、送信されるべきではない。従って、受信器は高精度の波長分波器を有していることが望まれる。

【0004】図1は、波長分波器として使用するため

の、多層干渉膜を用いた従来のフィルタを示す図である。図1によれば、多層干渉膜20は、透明な基板22上に形成される。光24は、これは平行光でなくてはならないが、フィルム20上に入射し、それから、繰り返してフィルム20内で反射される。フィルム20の特性によって決定される光学的条件によって、波長 $\lambda_2$ の光26のみが透過することができる。光28は、これは光学的条件を満たさない全ての光を含んでいるが、フィルム20を透過せず、反射される。従って、図1に示されているフィルタは、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含んでいる波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなフィルタ、それ自体は、2より多くのキャリアを有している波長分割多重光を分波することはできない。

【0005】図2は、波長分波器として使用する従来のファブリ・ペロー干渉計を示す図である。図2によれば、高反射率反射膜30と32は、互いに平行である。光34は、これは平行光でなくてはならないが、反射膜30上に入射し、反射膜30と32の間で多数回反射される。ファブリ・ペロー干渉計の特性によって決定される透過条件を満たす波長 $\lambda_2$ の光36は、反射膜32を透過する。透過条件を満たさない波長 $\lambda_1$ の光38は、反射される。このように、2つの異なる波長を有する光は、2つの異なる波長にそれぞれ対応する2つの異なる光に分波される。このように、図1に示されたフィルタのように、従来のファブリ・ペロー干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなファブリ・ペロー干渉計は、2より多くのキャリアを有する波長分割多重光を分波することはできない。

【0006】図3は、波長分波器として使用する従来のマイケルソン干渉計を示す図である。図3によれば、平行光40は、ハーフミラー42に入射し、互いに垂直な第1の光44と第2の光46に分波される。反射ミラー48は、第1の光44を反射し、反射ミラー50は、第2の光46を反射する。ハーフミラー42と反射ミラー48との距離と、ハーフミラー42と反射ミラー50との距離は光路差を示している。反射ミラー48によって反射される光は、ハーフミラー42に返され、反射ミラー50によって反射され、ハーフミラー42に返される光と干渉する。結果として、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ を有する光52と54は、互いに分離される。図1のフィルタや、図2のファブリ・ペロー干渉計のように、図3のマイケルソン干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなマイケルソン干渉計は、2より多くのキャリアを有する波長分割多重光を分波することはできない。

【0007】いくつかのフィルタ、ファブリ・ペロー干渉計、あるいは、マイケルソン干渉計を組み合わせで大

きなアレイにし、更なる波長キャリアを1つの波長分割多重光から分離できるようにすることは可能である。しかし、このようなアレイは高価で、非効率的であり、思わぬ程大きな受信器を構成することになってしまう。

【0008】回折格子や、導波路アレイ格子は、2以上の異なる波長キャリアからなる波長分割多重光を分波するのに、しばしば使用される。図4は、波長分割多重光を分波するための従来の回折格子を示す図である。図4によれば、回折格子56は凹凸面58を有している。複数の異なる波長キャリアを有する平行光60は凹凸面58に入射する。各波長キャリアは、反射され、格子の異なるステップからの反射光間で干渉する。結果として、異なる波長のキャリア62、64及び66は回折格子56から異なる角度で出力され、互いに分離される。

【0009】しかし、回折格子は、異なる波長のキャリアを相対的に小さいな角度差で出力する。従って、回折格子によって作り出される角分散は非常に小さいものとなる。結果として、受信器が、回折格子によって分波された様々なキャリア信号を正確に受光する事が困難となる。この問題は、比較的接近した波長を持つ多数のキャリアを有する波長分割多重光を分波する回折格子において特に重大である。

【0010】更に、回折格子は、入射光の光偏波によって影響を受ける。それゆえ、入射光の偏波が、回折格子の性能に影響を与えうる。また、回折格子の凹凸面のために、精度の良い回折格子を製造するためには複雑な製造工程が必要となる。

【0011】図5は、波長分割多重光を分波するための従来の導波路アレイ格子を示す図である。図5によれば、複数の異なる波長キャリアからなる光は、入力口68を介して受光され、多数の導波路70に分岐される。光出力口72は、各導波路70の端にあり、出力光74を生成するようになっている。導波路70は、互いに長さが異なり、従って、異なる長さの光路を設けている。従って、導波路70を通過する光は、互いに異なるパス長を有し、従って、出力口72を通過して互いに干渉し、異なる波長に対し異なる方向に出力74を形成する。

【0012】導波路アレイ格子においては、角分散は、適当に導波路を構成することにより、ある程度調整することができる。しかし、導波路アレイ格子は、温度変化と他の環境要因によって影響を受ける。従って、温度変化と環境要因によって、適切に性能を調節することが難しくなる。

【0013】従って、本発明の課題は、簡単な構成で、波長分割多重光から複数のキャリアを同時に分離することのできる波長分波器を提供することである。本発明の更なる課題は、比較的大きな角分散で、分離されたキャリアを分散し、環境条件の変化に耐性を持つ波長分波器を提供することである。

## 【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の課題は、側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置を提供することによって達成される。装置は、第1、第2、及び第3のレンズと、角分散装置を備えている。第1のレンズは、側面から見て入力光をコリメートし、正面から見たときにはレンズとしての効果を有しない。第2のレンズは第1のレンズから入力光を受光し、側面から見て入力光を集光し、正面から見たときにはレンズとしての効果を有しない。第3のレンズは、第2のレンズから入力光を受光し、正面から見たときに入力光をコリメートし、側面から見たときにはレンズとしての効果を有しない。角分散装置は、第1と第2の面を有している。第2の面は、入射した光の一部を透過させる反射率を有している。角分散装置は第3のレンズから入力光を受信する。第1及び第2の面は、入力光を第1と第2の面の間で複数回反射し、複数の光を第2の面を介して透過させるように配置されている。複数の透過光は互いに干渉し、波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成する。

【0015】本発明の課題は、更に、側面と正面を有し、波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する装置を提供することによって達成される。ここで、装置は、第1と第2のレンズと、角分散装置とを含んでいる。第1のレンズは、入力光を受光し、側面から見てレンズとして作用し、正面から見てレンズの働きを有しない。第2のレンズは、第1のレンズから入力光を受光し、正面から見てレンズとして作用し、側面から見てレンズの効果を有しない。角分散装置は、第1と第2の面を有している。第2の面は、入射した光の一部を透過させる反射率を有している。角分散装置は、第2のレンズから入力光を受光する。第1と第2の面は、入力光を第1と第2の面の間で複数回反射させ、複数の光が第2の面を介して透過されるように配置されている。複数の透過光は互いに干渉し、波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成する。

## 【0016】

【発明の実施の形態】本発明の本好適実施形態について、ここに詳細に述べる。これらの例は、添付の図面に図示されている。同様な参照符号は、全体を通して、同様な構成要素に付する。

【0017】図6は、本発明の一実施形態に従った、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (VIPA) を示す図である。更に、以後、「波長分波器」、「バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ」及び「VIPA」の用語は、本発明の様々な実施形態を記述するために、相互に入れ替えて使用可能とする。

【0018】図6において、VIPA76は、好ましく

は、ガラスの薄いプレートで構成される。入力光77は、半円筒レンズのようなレンズ80によって線78に集光され、入力光77はVIPA76内に進む。線78は、以後、「焦点線78」と呼ぶ。入力光77は、VIPA76内部の焦点線78から放射状に伝搬する。VIPA76は、次に、コリメート光の光束82を出力する。ここで、光束82の出力角度は入力光77の波長が変化するに従い変化する。例えば、入力光77が波長 $\lambda_1$ である場合、VIPA76は、波長 $\lambda_1$ の光束82aを特定の方向に出力する。入力光77が波長 $\lambda_2$ の場合、VIPA76は、波長 $\lambda_2$ の光束82bを異なる方向に出力する。従って、VIPA76は、互いに空間的に区別可能な光束82aと82bを生成する。入力光77が波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の両方を含んでいる場合には、VIPA76は、光束82aと82bの両方を同時に出力する。

【0019】図7は、本発明の一実施形態に従った、VIPA76を詳細に示す図である。図7によれば、VIPA76は、例えば、ガラスでできたプレート120を含み、その上に反射膜122と124を有している。反射膜122は、好ましくは、略95%からそれ以上で、100%より小さい反射率を有している。反射膜124は、好ましくは、略100%の反射率を有している。照射ウィンドウ126は、プレート120上に形成されており、好ましくは、略0%の反射率を有している。

【0020】入力光77は、照射ウィンドウを介して、レンズ80により焦点線78に集光され、反射膜122と124の間で多重反射を起こす。焦点線78は、好ましくは、反射膜122が形成されているプレート120の面上である。焦点線78は、本質的には、照射ウィンドウ126を介して反射膜122上に集光された線である。焦点線78の幅は、レンズ80によって集光された場合の入力光77の「ビームウエスト」と呼ぶことができる。従って、図7に示された本発明の実施形態は、入力光77のビームウエストをプレート120の遠い方の面（すなわち、その上に反射膜122を有している面）に集光する。ビームウエストをプレート120の遠い方の面に集光することによって、本発明の本実施形態では、(i)照射ウィンドウ126を通過する時の入力光77の領域（例えば、以下により詳細に述べる、図10に示された領域「a」）と、(ii)入力光77が反射膜124によって最初に反射されたときの反射膜124上の光の領域（例えば、以下により詳細に述べる、図10に示された領域「b」）との間で重なりが生じる可能性を減少させる。VIPAの適切な動作を保証するため、このような重なりを減少させることが望ましい。

【0021】図7において、入力光77の光軸132は、小さな傾き角 $\theta_0$ を有している。反射膜122の反射率を95%と仮定すると、反射膜122の最初の反射において、光の5%が反射膜122を通過し、ビームウ



エストの後拡散し、光の95%が反射膜124に向かって反射される。反射膜124によって最初に反射された後、光は、再び反射膜122に当たるが、 $d$ という量だけずれている。そして、光の5%が反射膜122を透過する。同様にして、図7に示されるように、光は、一定の間隔 $d$ 離れた多くのパスに分岐される。各パスのビームの形状は、光がビームウエストの虚像134から拡散するように形成される。虚像134は、プレート120に垂直な線に沿って一定の間隔 $2t$ で配置されている。ここで、 $t$ はプレート120の厚さである。虚像134におけるビームウエストの位置は、自然に配置されるものであり、それぞれの位置を調節する必要はない。虚像134から拡散する光は互いに干渉し、入力光77の波長に従って変化する方向に伝搬するコリメート光136を形成する。

【0022】光路の間隔は $d = 2t \sin \theta_0$ であり、隣接するビーム間のパス長の差は、 $2t \cos \theta_0$ である。角分散はこれらの2つの数の割合に比例しており、この比は、 $\cot \theta_0$ である。結果として、VIPAは、かなり大きな角分散を生成する。

【0023】図7から容易に分かるように、「virtually imaged phased array」という用語は、虚像134の配列の形成に由来するものである。図8は、本発明の実施形態に従った、図6に示されるVIPA76の線VII-VIIIに沿った断面を示す図である。図8によれば、プレート120は、その上に反射面122と124を有している。反射面122と124は、互いに平行で、プレート120の厚さ $t$ によって隔離されている。反射面122と124は、典型的には、プレート120上に形成された反射膜である。前述したように、反射面124は、照射ウィンドウを除いて、略100%の反射率を有しており、反射面122は、略95%かそれ以上の反射率を有している。従って、反射面122は、略5%かそれ以下の透過率を有しており、反射面122への入射光の略5%かそれ以下を透過させ、光の95%かそれ以上が反射される。反射面122と124の反射率は、VIPAの特別な応用に従えば、容易に変更可能である。しかし、一般的に、反射面122は、入射光の一部を透過させるため、100%より小さい反射率を有するべきである。

【0024】反射面124は、その上に照射ウィンドウ126を有している。照射ウィンドウ126は、光を透過させ、好ましくは、全く反射能を持たないか、あるいは、非常に低い反射率を有している。照射ウィンドウ126は、入力光77を受光し、入力光77を反射面122と124の間で受光させ、反射させる。

【0025】図8は、図6の線VIII-VIIIに沿った断面を示すので、図6の焦点線78は、図8においては、「点」として現れている。入力光77は、それから、焦点線78から放射状に伝搬する。更に、図8に示されて

いるように、焦点線78は、反射面122に配置されている。焦点線78が反射面122上にあることは必要ではないが、焦点線78の位置の移動はVIPA76の特性にわずかな変化をもたらす。

【0026】図8に示されているように、入力光77は、照射ウィンドウ126の領域A0を介してプレート120に入射する。ここで、点P0は領域A0の周囲の点を示している。

【0027】反射面122の反射率により、入力光77の略95%かそれ以上が反射面122によって反射され、反射面124の領域A1上に入射する。反射面124の領域A1から反射した後、入力光77は、反射面122に進み、一部が、光線R1で規定される出力光Out1として反射面122を透過する。このように、図8に示されているように、入力光77は、反射面122と124の間で多重反射を起こす。ここで、反射面122からのそれぞれの反射は、また、透過されるそれぞれの出力光となる。従って、例えば、入力光77は、領域A2、A3、及びA4で反射され、出力光Out2、Out3、及び、Out4を生成する。点P2は領域A2の周囲の点を示し、点P3は、領域A3の周囲の点を示し、点P4は領域A4の周囲の点を示している。出力光Out2は、光線R2によって規定され、出力光Out3は、光線R3によって規定され、出力光Out4は光線R4によって規定される。図8は、出力光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4のみを図示しているが、実際には入力光77のパワーと反射面122と124の反射率により、もっと多くの出力光が存在する。以下により詳細に述べるように、出力光は、互いに干渉し、入力光77の波長に従い変化する方向を有する光束を生成する。

【0028】図9は、本発明の一実施形態に従う、VIPAによって生成される干渉を示す図である。図9によれば、焦点線78から進む光は反射面124によって反射される。前述したように、反射面124は略100%の反射率を有しており、従って、本質的に鏡として機能する。結果として、出力光Out1は、反射面122と124が無く、出力光Out1が焦点線I<sub>1</sub>から放出されたように、光学的に分析することができる。同様に、出力光Out2、Out3及びOut4は、これらが、焦点線I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、及び、I<sub>4</sub>からそれぞれ放出されたように光学的に分析することができる。焦点線I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、及び、I<sub>4</sub>は、焦点線I<sub>0</sub>の虚像である。

【0029】従って、図9に示されているように、焦点線I<sub>1</sub>は、焦点線I<sub>0</sub>から距離 $2t$ のところにある。ここで、 $t$ は、反射面122と124の間の距離に等しい。同様に、それぞれの後続の焦点線は、直前の焦点線から距離 $2t$ のところにある。このように、焦点線I<sub>2</sub>は、焦点線I<sub>1</sub>から距離 $2t$ のところにある。更に、反射面122と124の間のそれぞれの後続の多重反射

は、前の出力光より強度が小さい出力光を生成する。従って、出力光Out 2は出力光Out 1よりも強度が小さい。

【0030】図9に示されているように、焦点線からの出力光は、互いに重なり、干渉する。この干渉は、入力光77の波長に依存した特定の方向に進む光束を生成する。本発明の上記実施形態に従ったVIP Aは、VIP Aの設計上の特性である強め合いの条件を有している。強め合いの条件は、出力光の干渉を増加し、光束が形成されるようにする。VIP Aの強め合いの条件は以下の式(1)によって表される。

$$【0031】 2t \times \cos \theta = m\lambda$$

ここで、 $\theta$ は反射面122と124の面に垂直な線から計った、形成された光束の伝搬方向である。 $\lambda$ は、入力光の波長を示し、 $t$ は、反射面122と124の間の距離を示し、 $m$ は整数を示す。

【0032】従って、 $t$ が定数で、 $m$ に特定の値が与えられたなら、波長 $\lambda$ の入力光に対して形成される光束の伝搬方向 $\theta$ を決定することができる。更に詳しくは、入力光77は、特定の角度で、焦点線78から放射状に拡散する。従って、同じ波長の入力光は、焦点線78から多くの異なった方向に進み、反射面122と124の間で反射される。VIP Aの強め合いの条件は特定の方向に進む光が、出力光の干渉を介して強め合い、入力光の波長に対応した方向を有する光束を形成する。強め合いの条件によって要求される特定の方向とは異なった方向に進む光は出力光の干渉によって弱められる。

【0033】図10は、本発明の実施形態に従った、入力光の入射角度、あるいは、傾き角を決定するためのVIP Aの特性を示す、図6に図示されたVIP Aの線VII-VIII に沿った断面を示す図である。

【0034】図10を参照すると、入力光77は、円筒レンズ(不図示)によって集光され、焦点線78に収束される。図10のように、入力光77は、照射ウィンドウ126上の「a」に等しい幅を持つ領域をカバーする。入力光77が反射面122から1回反射された後、入力光77は、反射面124上に入射し、反射面124上の「b」に等しい幅の領域をカバーする。更に、図10に示されているように、入力光77は、反射面122の垂線に対して、傾き角 $\theta_0$ の光軸132に沿って進む。

【0035】傾き角 $\theta_0$ は、反射面122によって最初に反射された後、入力光77が、照射ウィンドウ126から進み出てしまわないように設定されるべきである。言い換えれば、傾き角 $\theta_0$ は、入力光77が反射面122と124の間に「捕獲」され、照射ウィンドウ126から逃げ出さないように設定されるべきである。従って、入力光77が照射ウィンドウ126から進み出てしまわないためには、傾き角 $\theta_0$ は、以下の式(2)に従って設定されるべきである。

$$【0036】 \text{光軸の傾き } \theta_0 \geq (a+b)/4t$$

( $a+b$ )の項は、 $a=b$ の時最小となる。これは、焦点線78が反射面122上に位置している状況である。

【0037】従って、図6～10に示されているように、本発明の実施形態は、波長の連続範囲内のそれぞれの波長を有する入力光を受光するVIP Aを含む。VIP Aは入力光の多重反射によって、自己干渉を起こさせ、出力光を形成させる。出力光は、波長の連続範囲内の他のいかなる波長の入力光に対して形成された出力光と空間的に区別可能である。例えば、図8は、反射面122と124の間で多重反射を起こす入力光を図示している。この多重反射は、入力光77の各波長に対して、空間的に区別可能な光束を生成するように、互いに干渉する複数の出力光Out 0、Out 1、Out 2、Out 3、及び、Out 4を生成する。

【0038】「自己干渉」は、同じ光源からの複数の光あるいはビーム間に生じる干渉を示す用語である。従って、出力光Out 0、Out 1、Out 2、Out 3及びOut 4は全て同じ光源(すなわち、入力光77)から来ているので、出力光Out 0、Out 1、Out 2、Out 3、及び、Out 4の干渉は、入力光77の自己干渉と呼ばれる。

【0039】本発明の上記実施形態によれば、入力光は波長の連続範囲内のいかなる波長であっても良い。よって、入力光は離散的な値の範囲から選択された値を有する波長に限定されるものではない。

【0040】更に、本発明の上記実施形態によれば、波長の連続範囲内の特定の波長の入力光に対して生成された出力光は、入力光が波長の連続範囲内の異なる波長であった場合に生成される出力光と空間的に区別可能である。従って、例えば、図6に示されているように、光束82の進行方向(すなわち、「空間的特性」)は、入力光77が波長の連続範囲内の異なる波長である場合、異なってくる。更に、例えば、図6を参照すると、入力光77が3つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 及び $\lambda_3$ 全てを含んでいる場合、光束82a、82b、及び82cは、同時に生成され、異なる方向に進む。

【0041】本発明の上記実施形態によれば、焦点線は入力光が入力する平行板の反対側の面上にあるように記載されている。しかし、焦点線は、例えば、平行板内、照射ウィンドウの面上、あるいは、照射ウィンドウの手前とすることも可能である。

【0042】本発明の上記実施形態によれば、2つの反射膜は、その間で光を反射し、一つの反射膜の反射率は略100%である。しかし、同様の効果は、100%より小さい反射率をそれぞれ有する2つの反射膜によっても得ることができる。例えば、両反射膜は、95%の反射率を有することができる。この場合、それぞれの反射膜は、光を透過させ、干渉を起こさせる。結果として、波長に依存した方向に進む光束は、反射膜が形成された

平行板の両側に形成される。よって、本発明の多様な実施形態の多様な反射率は、VIPAの必要な特性に従って容易に変更可能である。

【0043】本発明の上記実施形態によれば、導波路装置は、平行板によって形成される、あるいは、互いに平行な2つの反射面によって形成されるとして記載されている。しかし、該板あるいは、反射面は必ずしも平行である必要はない。

【0044】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、多重反射を使用し、干渉する光間の一定の位相差を保持する。結果として、VIPAの特性は安定で、結果、偏波による光学的特性の変化を削減する。これに対し、従来の回折格子の光学的特性は、入力光の偏波に依存して望ましくない変化を受ける。

【0045】本発明の上記実施形態は、互いに「空間的に区別可能」な光束を提供するものとして記載した。

「空間的に区別可能」とは、空間において区別可能な光束のことを述べている。例えば、コリメートされ、異なる方向に進む、あるいは、異なる地点に集光されるならば、さまざまな光束は空間的に区別可能である。しかし、本発明は、これらの詳細な例に限定されるものではなく、光束を互いに空間的に区別可能とする他の方法も存在する。

【0046】図11は、本発明の一実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。図11によれば、多層反射膜96と98は、例えば、100 $\mu$ mの厚さを有するガラスでできた平行板100の両側に設けられている。平行板100は、20~2000 $\mu$ mの範囲の厚さを有していることが望ましい。反射膜96と98は好ましくは、多層高反射率干渉膜である。

【0047】反射膜98の反射率は、略100%であり、反射膜96の反射率は略95%である。しかし、反射膜96の反射率は95%には限定されず、反射膜96と98の間で多重反射が起こるように、反射膜96から十分な光が反射されるならば、異なった値でもよい。好ましくは、反射膜96の反射率は、80%から100%より小さい数パーセントの範囲である。更に、反射膜98の反射率は100%に限定されないが、反射膜96と98の間で多重反射を起こさせる程度に充分高い必要がある。

【0048】照射ウィンドウ102は、入力光を受光し、平行板100の反射膜96と同じ面上に配置されている。照射ウィンドウ102は、平行板100の面上に略0%の反射率を有する膜によって形成されている。図11に示されるように、照射ウィンドウ102と反射膜96の間の境界は、好ましくは、直線である。

【0049】入力光は、例えば、光ファイバ（不図示）から出力され、コリメートレンズ106によって受光される。コリメートレンズ106は入力光を、円筒レンズ108によって受光される平行ビームに変換する。円筒

レンズ108は、平行ビーム104を照射ウィンドウ102上の焦点線110に集光する。焦点線110は反射膜96と照射ウィンドウ102間の直線の境界の近くに、平行に配置される。このように、入力光は照射ウィンドウ102を介して平行板100に入力される。

【0050】入力光102の光軸は、反射膜96の垂線に対して傾き角を有しており、入力光が、平行板100に入った後、照射ウィンドウ102から逃げないようにしている。従って、傾き角は、上記式(2)に従って設定される。

【0051】一旦、入力光が平行板100の内に入ると、（例えば、図8に示されるように）反射膜96と98の間で多重反射を起こす。入力光が反射膜96に入射する度に、光の略95%は、反射膜98に向かって反射され、光の略5%が反射膜96を透過して、出力光を形成する（例えば、図8に示されるような出力光Output）。反射膜96と98間の多重反射によって、複数の出力光が形成される。複数の出力光は、互いに干渉し、入力光の波長に依存する伝搬方向に光束を形成する。

【0052】光束112は、光束を収束点に収束するレンズ114によって集光される。収束点は、入力光の異なる波長に対し、直線パス116に沿って移動する。例えば、入力光の波長が増加するに従い、収束点は、直線パス116に沿って更に遠くに移動する。複数の受信器118は、集光された光束112を受光するため、直線パス116上に配置されている。従って、各受信器118は、特定の波長に対応する光束を受信するように配置されている。

【0053】VIPAの反射膜あるいは反射面間の距離を制御することにより、反射膜あるいは反射面間で反射される光の位相差を所定の量だけシフトすることができる。従って、優れた環境耐性を実現することができる。更に、本発明の上記実施形態は、光学的偏波に依存する光学的特性に関し、わずかな変化しか起こさない。

【0054】図12は、本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に用いるVIPAを示す図である。図12に記載されたVIPAは、反射膜96と98の反射率が入れ替えられている他は、図11に記載されたVIPAと同様である。より詳しくは、図12に記載されたVIPAにおいては、反射膜98は、略95%の反射率を有し、反射膜96は、略100%の反射率を有している。図12に示すように、光束112は、反射膜112を介して透過する出力光の干渉によって形成される。従って、入力光は、平行板100の片側から入射し、光束112は、平行板100の反対側に形成される。その他は、図12に記載のVIPAは、図11に記載のVIPAと同様に動作する。

【0055】図13は、本発明の一実施形態に従った、導波路型VIPAを示す図である。図13によると、光138は、光ファイバ（不図示）から出力され、基板1

42に設けられた導波路140によって受光される。導波路140は、例えば、ニオブ酸リチウムである。光138は、異なる波長を有する複数のキャリア上に変調された光信号を含んでいる。

【0056】光138は、典型的には、光ファイバから出力されるときに、拡散された幅を有している。従って、コリメートレンズ142は、光138を平行光に変換する。平行光は、次に、円筒レンズ144によって集光され、焦点線146に収束される。光は、そして、照射ウィンドウ150を介して、焦点線146からVIP A148の中に放射される。

【0057】VIP A148は、平行板156上に反射膜152と154を備えている。反射膜154は、平行板156の片側にあり、反射膜152と照射ウィンドウ150は、平行板156の他の側にある。反射膜152は、略100%の反射率を有し、反射膜154は、100%よりも小さい反射率を有している。平行板156によって反射される光の光束158は、平行板156の照射ウィンドウ150とは反対側に出力される。

【0058】入力光138が複数の波長を含んでいる場合には、入力光138の波長に依存した異なる方向に進む、複数の光束158が形成される。VIP A148によって形成される光束158は、レンズ160によって、光束158の伝搬方向に依存した、異なる点に集光される。従って、図13に示されるように、それぞれ、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、及び $\lambda_3$ を有する光束158a、158b、及び158cは、異なる集光点に形成される。

【0059】複数の受光導波路162が、集光点に設けられる。各受光導波路162は、光信号と単一の波長を有する対応するキャリアを導く。従って、複数の光束は、同時に受光され、さまざまなチャネルを介して送出される。各受光導波路162は、後段に設けられる対応する受信器（不図示）を有している。受信器は、典型的には、光ダイオードである。従って、各受光導波路162によって導かれる光は、対応する受信器によって受信された後、処理される。

【0060】しかし、あるVIP Aの応用においては、得られた光束の正面のビームサイズは、以下に詳細に示すように、最適な動作をさせるほど十分に大きくない。例えば、図14(A)は、VIP Aを使用する装置の側面図であり、図14(B)は、装置の正面図である。図14(A)及び14(B)によれば、入力光104は、入力ファイバ170からコリメートレンズ106へと進む。コリメートレンズ106は、入力光104を、円筒レンズ108によって受光される平行ビームに変換する。円筒レンズ108は、平行ビームをVIP A76に集光して、光束112を形成させる。

【0061】光は、図14(A)の側面図においては、 $a_1$ と $a_2$ のビーム幅を、図14(B)の正面図においては $b_2$ のビーム幅を有している。図15は、図14

(A)の側面図を単純化した図である。図15を参照すると、コリメートレンズ106と円筒レンズ108は、それぞれ、焦点距離 $f_1$ と $f_2$ を有している。理想的なビームサイズ $a_2$ は、VIP A76の厚さやVIP A76への光入射角度などのパラメータによって決定される。図15に示されているように、ビームサイズは、焦点距離 $f_1$ と $f_2$ の比によって拡大する。より詳しくは、

$$a_2 / a_1 = f_2 / f_1$$

特別な応用においては、 $a_1$ 、 $a_2$ と、入力ファイバ170からVIP A76までの距離は典型的には、与えられているか、あるいは、固定されている。従って、最大の焦点距離 $f_1$ は、容易に決定できる。しかし、ビームサイズ $b_2$ は、焦点距離 $f_1$ によって決定され、最大許容焦点距離 $f_1$ は、一般には、充分大きなビームサイズ $b_2$ を与えない。

【0062】以下に、大きなビームサイズ $b_2$ が必要な理由を述べる。図16は、VIP A76の動作を示す図である。図16は、図7に示されるものと同じ動作を示しているが、最初の3つの干渉光にそれぞれビーム1、ビーム2、及びビーム3としてラベルを付けてある。干渉光のそれぞれには、対応するビーム番号が付けることができる。例えば、100番目の干渉光はビーム100というように呼ぶ。

【0063】図17(A)、17(B)及び17(C)は、それぞれ、ビーム1、ビーム2、及びビーム3に対する装置の正面図を示す図である。図17(A)は、ビーム1に対する装置を示しているので、図17(A)は、入力ファイバ170、コリメートレンズ106、及び円筒レンズ108の実際の物理的位置を示している。これに対し、図17(B)は、ビーム2に対する装置を記載しているので、図17(B)は、入力ファイバ170、コリメートレンズ106、及び円筒レンズ108の「仮想的」位置を示している。同様に、図17(C)は、ビーム3に対する装置を示しているので、図17(C)は、入力ファイバ170、コリメートレンズ106、及び円筒レンズ108の「仮想的」位置を示している。図17(A)、17(B)及び17(C)から分かるように、VIP A76の前段の構成の「仮想的」位置は、各後続の干渉光に対し、VIP A76からより遠いところへ移動するであろう。

【0064】図18(A)、18(B)及び18(C)は、それぞれ、図17(A)、17(B)及び187(C)のシステムと等価なシステムを示す図である。更に、図18(A)、18(B)、及び18(C)は、それぞれレンズ間の異なる長さ $L_1$ 、 $L_2$ 及び $L_3$ を示している。図18(A)、18(B)、及び18(C)から分かるように、レンズ間の長さは、各後続の干渉光に対し増加していくであろう。従って、例えば、100番目の干渉光（ビーム100）に対する長さは、比較的長

くなるであろう。

【0065】回折限界のために、コリメート光は、光が進む距離が長くなるに従い、広がっていく。従って、ビーム100のような非常に長い進行距離を有する光は、非常に広がってしまう。結果として、VIPAは、様々な干渉光間に十分な干渉を起こさせることができない。

【0066】例として、VIPAの厚さのような様々な要因に依存する典型的な構成に対して、ビーム1の $L_1$ は、典型的には、1 cmである。ビーム100に対する $L_{100}$ は、典型的には、20 cmである。このように、 $L_1$ と $L_{100}$ の差は比較的大きい。結果として、ビーム100は、適切な干渉量を得るには、あまりにも広がりすぎている。

【0067】ビームサイズ $b_2$ をより大きくすれば、コリメート光がより長い距離保持されることによって、この問題が解決される。しかし、上記したように、図14(A)及び14(B)の装置では、多くの場合、十分に大きなビームサイズ $b_2$ を得ることができない。

【0068】例として、ビームサイズ $b_2$ は、典型的な応用において好ましいサイズである、3 mmより大きいべきであると仮定する。しかし、 $a_1$ 、 $a_2$ 及び入力ファイバ170からVIPA76までの距離は、一般に、固定されているので、最大許容焦点距離 $f_1$ は、3 mmより大きいビームサイズ $b_2$ を得るには十分ではない。

【0069】あるいは、装置のサイズを大きくして、3 mmより大きいビームサイズ $b_2$ を得ることも可能である。このビームサイズを得るためには、 $f_1$ は、典型的には、2~3 cmの範囲にある。更に、典型的な構成においては、 $a_2/a_1$ は3~4の範囲であるべきであり、 $f_2$ は略10 cmとなる。従って、 $f_1 + f_2$ は略13 cmとなる。この全長は多くの場合大きすぎる。むしろ、もっとコンパクトな装置が望まれている。

【0070】図19(A)は、本発明の一実施形態に従った、大きなビームサイズ $b_2$ を得る、VIPAを使用する装置の側面図、図19(B)は正面図である。図19(A)及び19(B)によれば、装置は、3つのレンズ200、202、及び204を入力ファイバ170とVIPA76の間に有している。全てのレンズは、好ましくは、円筒レンズ、あるいは、半円筒レンズ、あるいは、同様な機能を有したレンズである。レンズ200と202は、正面から見たときレンズの作用を有しない。レンズ204は、側面から見たとき、レンズの作用を有しない。焦点距離 $f_3$ は、入力ファイバ170からVIPA76までの距離と同じ程度の長さである。

【0071】側面図においては(すなわち、図19(A)においては)、光は、図14(A)の場合と同様に、コリメートされ、VIPA76に集光されている。従って、ビームサイズ $a_2$ は、 $f_1$ と $f_2$ としてちょうど良い数を選択することにより任意に決定可能である。更に、ビームサイズ $b_2$ は、正面図(図19(B))に

示されるように、焦点距離 $f_3$ によって、ほとんど独立に決定可能である。

【0072】図19(A)及び19(B)の装置は、図14(A)及び14(B)の装置と比較可能である。例えば、図14(A)及び図14(B)の装置に対して上記したように、3 mmより大きなビームサイズ $b_2$ を得るためには、 $f_1 + f_2$ を略13 cmにしなければならない。これに対し、図19(A)及び図19(B)の装置の場合には、 $f_1 + f_2$ を非常に小さく、そして、13 cmよりもずっと小さくすることができる。更に、図19(A)及び19(B)において、 $f_3$ は、3 mmよりも大きなビームサイズ $b_2$ を得るためには、典型的には、略2~3 cmである。従って、図19(A)及び19(B)の装置は、図14(A)及び14(B)の装置より、かなり小さい。

【0073】上記の数値例は、一般的な、概略の例を単に示すものであって、本発明を限定するものではない。従って、本発明の実施形態によれば、第1のレンズは、側面から見て入力光をコリメートし、正面から見た場合には、レンズの作用を有しない。第2のレンズは、第1のレンズから入力光を受光し、側面から見て入力光を集光し、正面から見た場合には、レンズの作用を有しない。第3のレンズは、第2のレンズから入力光を受光し、正面から見て入力光をコリメートし、側面から見た場合には、レンズの作用を有しない。第3のレンズからの光は、VIPAによって受光される。

【0074】更に、図19(A)及び19(B)のレンズ200と202は、組み合わせると1つのレンズにすることができる。例えば、図20(A)は、本発明の一実施形態に従った、入力ファイバ170とVIPA76の間に2つのレンズを有する装置の側面図であり、図20(B)は、正面図である。図20(A)と20(B)によれば、レンズ206は、側面から見てレンズとして作用し、正面から見た場合、レンズの作用を有しない。これに対し、レンズ208は、正面から見てレンズとして作用し、側面から見た場合、レンズの作用を有しない。

【0075】本発明の上記実施形態のさまざまな態様において、VIPAは、得られた光束を光ファイバへ向ける。しかし、本発明は、光束を他の点や光素子に向けるVIPAにも適用可能である。例えば、本発明は、光がVIPAに反射・返送されるように、鏡に光束を向けることによって、色分散を補償あるいは生成するためにVIPAを使用する装置に適用可能である。

【0076】例えば、図21(A)及び21(B)は、本発明の一実施形態に従った、色分散を補償あるいは生成するためにVIPAを使用する装置を示す図である。図21(A)を参照すると、VIPA76によって生成される光束は、レンズ210によって鏡212上に集光される。鏡212は、光をVIPAに反射・返送して、返送された光がVIPA76内で多重反射を起こし、V

IPA76からレンズ204、202、及び200を介して、入力ファイバ170に出力されるようにする。図21(B)の装置は、レンズ200、202、及び204の代わりにレンズ206と208を使用して、同様に動作する。光返送装置(鏡など)と共にVIPAを用いた装置の更なる詳細は、1997年2月7日出願のU. S. 出願08/796,842「色分散を生成するためにバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイを使用する光装置」、及び1997年8月13日出願のU. S. 出願08/910,251「色分散を生成するためにバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイを使用する光装置」に開示されているので、ここに、参照文献として記載する。

【0077】図19(A)、19(B)、20(A)、20(B)、21(A)及び21(B)によれば、各レンズ200、202、204、206、208は、好ましくは、円筒レンズ、半円筒レンズ、あるいは、一次元グレーディッドインデックスレンズである。しかし、本発明は、いかなる特定のタイプのレンズの使用に限定するものではない。

【0078】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、第1と第2反射面を含んでいる。第2の面は、入射した光の一部を透過させるような反射率を有している。VIPAは波長の連続範囲内の各波長の入力光を受光する。第1と第2の面は、入力光が第1の面と第2の面の間で複数回反射し、複数の光を第2の面を介して透過させるように配置されている。複数の透過光は、互いに干渉し、波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光とも空間的に区別可能な出力光(図6の光束82aあるいは82b等)を生成する。

【0079】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、平行板、あるいは、互いに平行な2つの反射面によって形成されているとして記載した。しかし、板あるいは反射面は、必ずしも平行である必要はない。

【0080】本発明の上記実施形態によれば、複数の波長を含む光は同時に分波される。従って、波長多重通信に使用する受信器のサイズをうまく小さくすることができる。

【0081】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、入力光の各波長に対し、波長多重光を同時に分波することができる。更に、分散角は、VIPAを形成する平行板の厚さによって調節することができる。結果として、分散角は、分波された各信号を容易に受信器が受光できるように、充分大きくすることができる。例えば、従来の回折格子は、大きな分散角に対し、精緻な凹凸面を必要とする。しかし、精緻な凹凸面を設けることは非常に困難で、分散角の大きさを限定している。これに対し、本発明の上記実施形態に従ったVIPAは、比較的大きな分散角を実現するために平行板の厚さを変化させるのみでよい。

【0082】更に、本発明の上記実施形態によるVIPAは、従来の回折格子よりも大きな分散角を生成する。従って、本発明の実施形態に従ったVIPAを使用する受信器は、ハイレベル多重処理を実現する波長多重通信においても、間違いなく、光信号を正しく受光することができる。更に、このような受信器は、比較的簡単な構成を有し、製造するのにも比較的安価である。

【0083】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、多重反射を使用し、干渉光間の一定の位相差を保持する。結果として、VIPAの特性は安定で、偏波による光学的特性の変化を抑制する。これに対し、従来の回折格子の光学的特性は、入力光の偏波に依存して、望ましくない変化を被る。

【0084】更に、導波路アレイ格子に比較して、本発明の上記実施形態に従ったVIPAは、比較的簡単な構成で、安定な特性と、環境条件の変化に対する耐性を達成する。

【0085】本発明の上記実施形態においては、VIPAは、光を反射するための反射膜を有している。例えば、図7は、光を反射するための反射膜122と124を有しているIPA76を示している。しかし、VIPAは、反射面を得るために「膜」を使用することに限定されるものではない。むしろ、VIPAは、単に、適当な反射面を有しているべきであり、これらの反射面は「膜」で形成されていてもいなくても良い。

【0086】更に、本発明の上記実施形態においては、VIPAは、内部で多重反射が起こる透明なガラス板を含んでいる。例えば、図7は、その上に反射膜を有する透明なガラス板を備えるIPA76が示されている。しかし、VIPAは、反射面を隔離するためにガラス部材やいかなるタイプの「板」を使用することに限定するものではない。例えば、VIPAの反射面は、ガラス板ではなくて、低い熱膨張のガラスや金属のような部材によって安定に保持される反射面を有し、間に単に「空気」があるようなものでもよい。従って、反射面は、その間に、例えば、光学ガラスや空気である、透明部材を有するように記述することが可能である。

【0087】本発明のいくつかの好適な実施形態について示し、記載したが、当業者によれば、請求項やその均等物によって規定される発明の原理や精神から離れることなく、これらの実施形態に変更を加え得ることが理解されるであろう。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来の、多層干渉膜を用いたフィルタを示す図である。

【図2】従来の、ファブリ・ペロー干渉計を示す図である。

【図3】従来の、マイケルソン干渉計を示す図である。

【図4】従来の、回折格子を示す図である。

【図5】従来の、波長分割多重光を分波するための導波

路アレイ格子を示す図である。

【図6】本発明の一実施形態に従った、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ（VIPA）を示す図である。

【図7】本発明の一実施形態に従った、図6に図示されたVIPAの詳細を示す図である。

【図8】本発明の実施形態に従った、図6に図示されたVIPAの、線VIII-VIII に沿った断面を示す図である。

【図9】本発明の一実施形態に従った、VIPAによって生成される干渉を示す図である。

【図10】本発明の一実施形態に従った、入力光の傾き角を決定するための、図6に図示されたVIPAの線VI-VIII に沿った断面を示す図である。

【図11】本発明の一実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。

【図12】本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。

【図13】本発明の一実施形態に従った、導波路型VIPAを示す図である。

【図14】本発明の一実施形態に従った、VIPAを使用した装置の側面図と正面図である。

【図15】本発明の一実施形態に従った、図14（A）の側面図を簡略化した図である。

【図16】本発明の一実施形態に従った、VIPAの動作を示す図である。

【図17】本発明の一実施形態に従った、第1、第2、及び第3以降の干渉光に対して、VIPAを用いた装置

の正面図を示す図である。

【図18】本発明の一実施形態に従った、図17のシステムと等価のシステムを示す図である。

【図19】本発明の一実施形態に従った、VIPAを用い、正面において大きなビームサイズを与える装置の側面図と正面図を示す図である。

【図20】本発明の一実施形態に従った、入力ファイバとVIPAの間に2つのレンズを有する装置の側面図と正面図を示す図である。

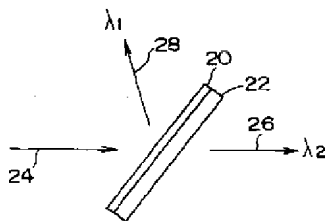
【図21】本発明の一実施形態に従った、色分散を補償あるいは生成するためのVIPAを用いた装置を示す図である。

#### 【符号の説明】

76	VIPA
78	焦点線
80	レンズ
82	光束
106	コリメートレンズ
108	円筒レンズ
120	ガラス板
122、124	反射膜
126	照射ウィンドウ
132	光軸
170	入力ファイバ
200、202、204、206、208、210	レンズ
212	鏡

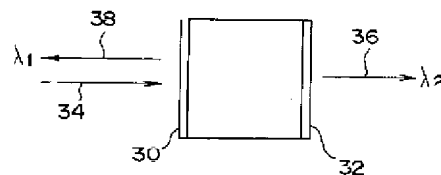
【図1】

従来の多層干渉膜を用いたフィルタを示す図



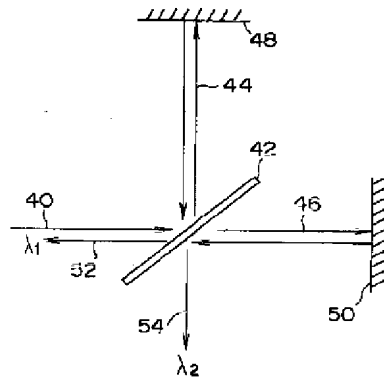
【図2】

従来のファブリ・ペロー干渉計を示す図



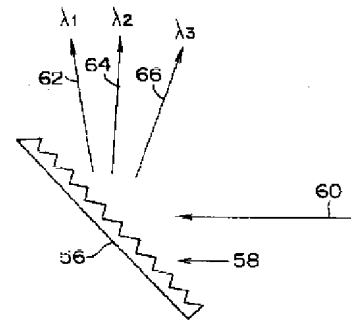
【図3】

従来のマイケルソン干渉計を示す図



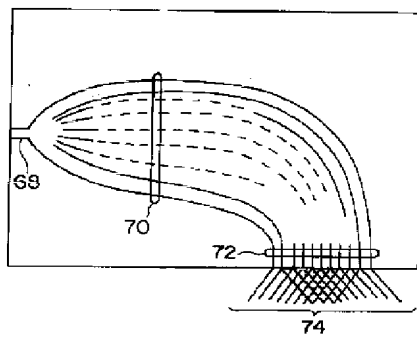
【図4】

従来の回折格子を示す図



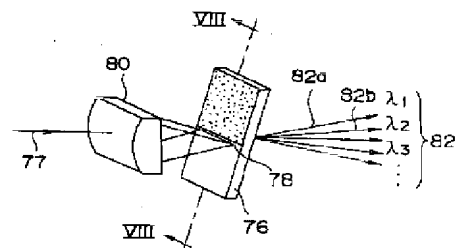
【図5】

従来の波長分割多重光を分波するための  
導波路型アレイ格子を示す図



【図6】

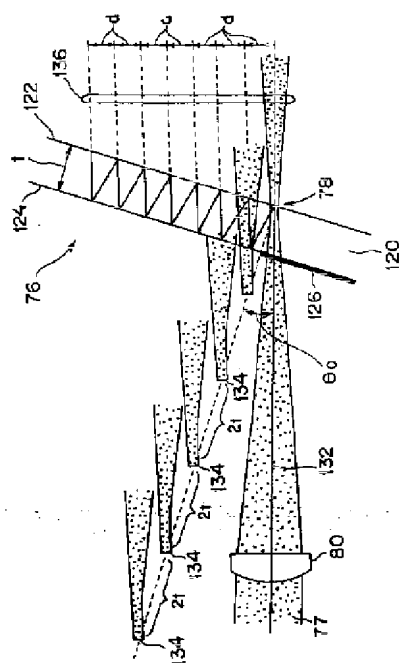
本発明の一実施形態に従った、パルセル・  
イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)を示す図





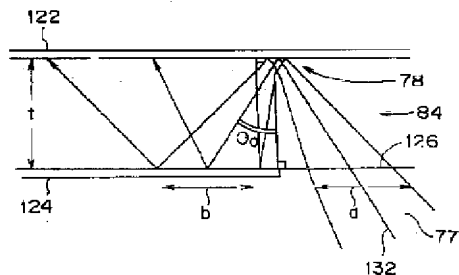
【图7】

本発明の一実施形態に従った、図6に図示された  
VIPAの詳細を示す図



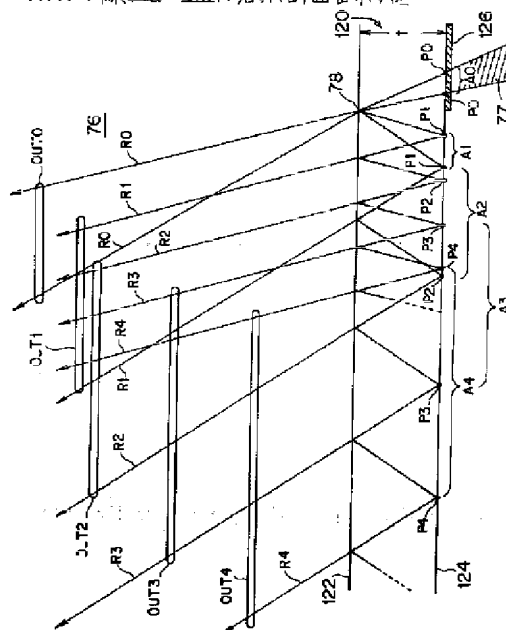
【 ㄨ 1 0 】

本発明の一実施形態に従った、入力光の傾き角を決定するための、図6に図示されたVIPAの線VIII-VIIIに沿った断面を示す図



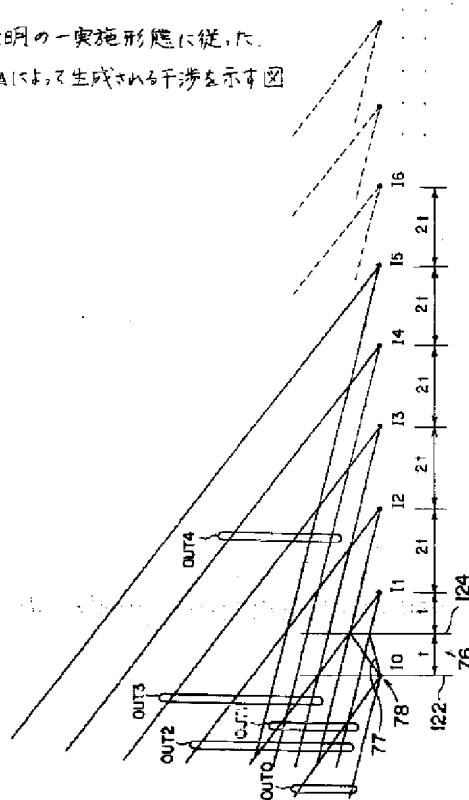
【例8】

本発明の実施形態に従った、図6に図示された  
VIPAの線VIII-VIIIに沿った断面を示す図



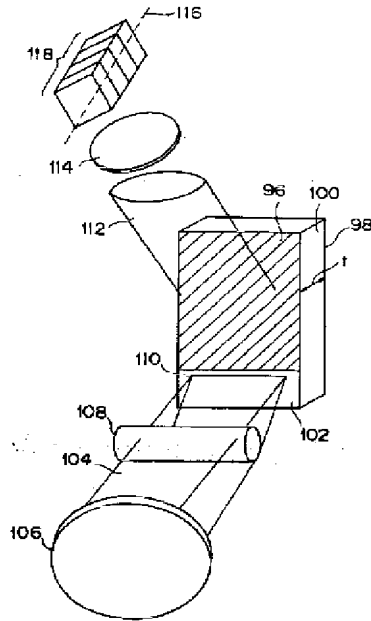
【图9】

本発明の一実施形態に従い、  
VIPAにより生成される干渉を示す図



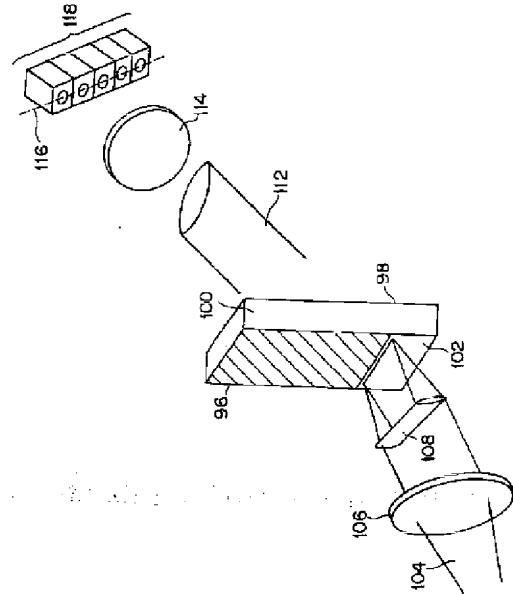
【図11】

本発明の一実施形態に従った、受信器と共に  
用いられるVIPAを示す図



【図12】

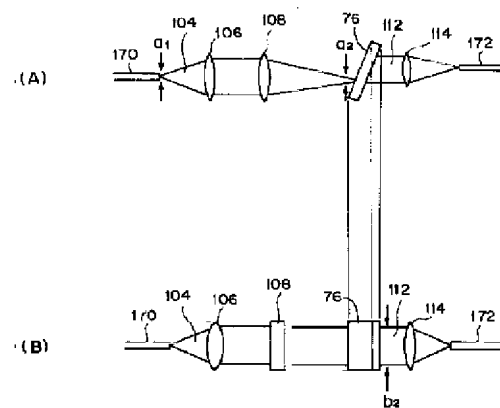
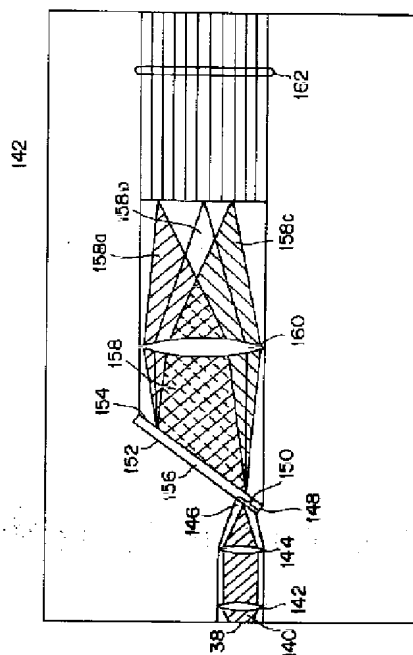
本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に  
用いられるVIPAを示す図



【図14】

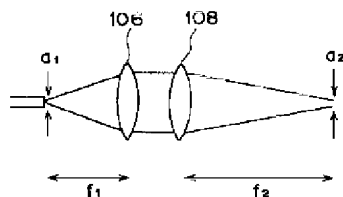
本発明の一実施形態に従った、VIPAを使用した  
装置の側面図と正面図

本発明の一実施形態に従った、導波路型  
VIPAを示す図



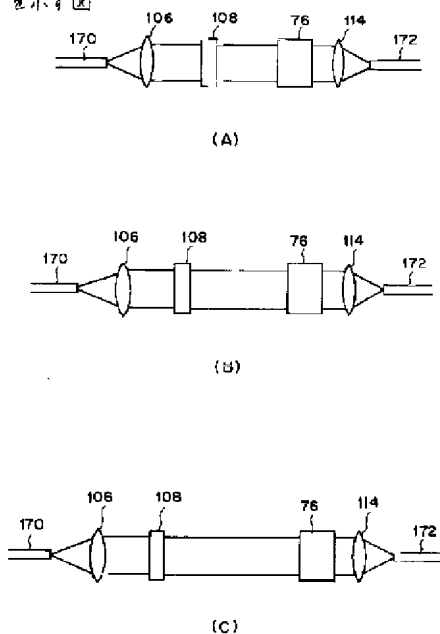
【例 15】

本発明の一実施形態に従った図14(A)  
側面図を簡単にした図



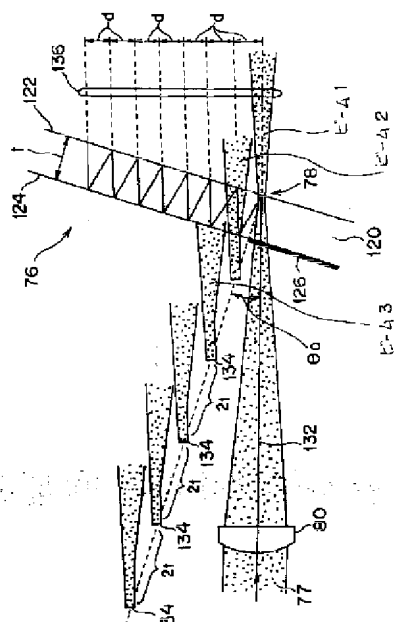
【例 17】

本発明の一実施形態に従った、第1、第2及び第3以降の干渉光に対してVIPAを用いた装置の正面図を示す図



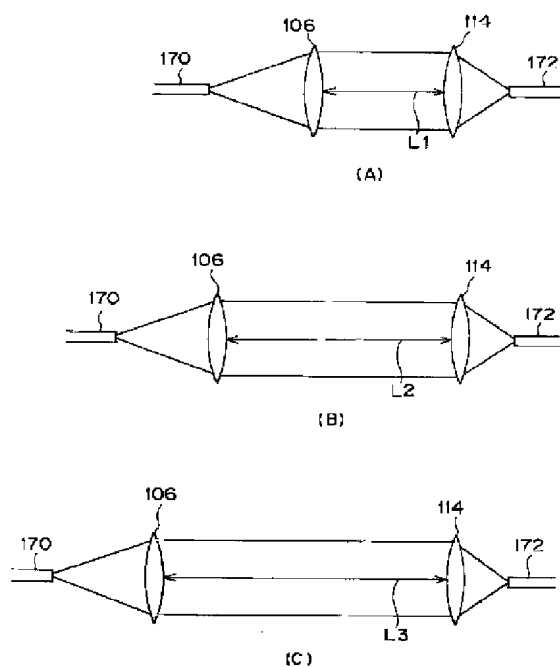
【例 16】

本発明の一実施形態に従った、  
VIPAの動作を示す図



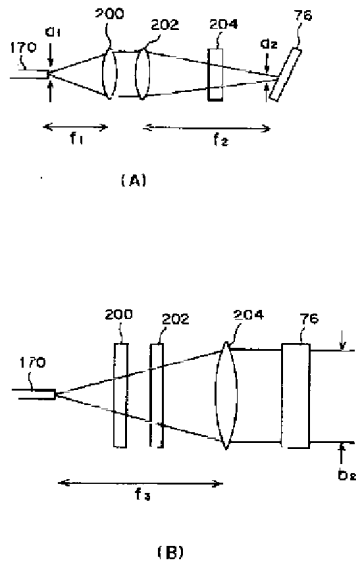
【图 18】

本発明の一実施形態に従った、図11のシステム  
と等価のシステムを示す図



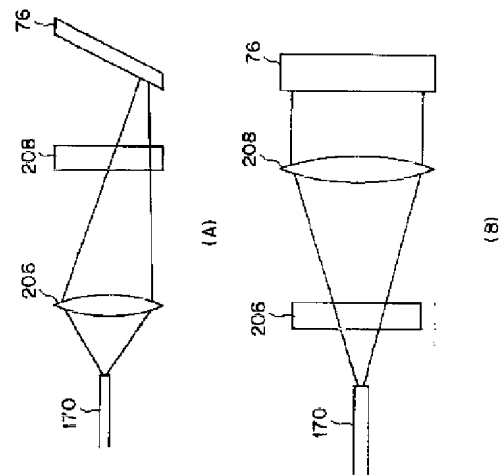
【図19】

本発明の一実施形態に従った、VIPAを用い、正面において大きなビームサイズを与える装置の側面図と正面図を示す図



【図20】

本発明の一実施形態に従った、入力ファイバとVIPAの間に2つのレンズを有する装置の側面図と正面図を示す図



【図21】

本発明の一実施形態に従った、色分散を補償あるいは生成するためのVIPAを用いた装置を示す図

